

ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE D'ALFORT

ANNÉE 1932

THÈSE

N° 44

POUR LE
DOCTORAT VÉTÉRINAIRE
DIPLOME D'ÉTAT

Soutenue devant la Faculté de Médecine de Paris en 1932.

PAR

Pierre-Lucien POTY

Né le 21 Janvier 1908 à Maubeuge (Nord)

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
DES
PHOSPHATES BICALCIQUE ET TRICALCIQUE
DANS L'ALIMENTATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

JURY { *Président* : FIESSINGER, Professeur à la Faculté de Médecine
 { *Asseseurs* : { DECHAMBRE { Professeurs à l'École Nationale
 { LESBOUYRIES { Vétérinaire d'Alfort

PARIS

VIGOT FRÈRES, ÉDITEURS
23, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 23

1932

**CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
DES PHOSPHATES BICALCIQUE ET
TRICALCIQUE DANS L'ALIMENTATION
DES ANIMAUX DOMESTIQUES**



Digitized by the Internet Archive
in 2026

ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE D'ALFORT

ANNÉE 1932

THÈSE

N° 44

POUR LE
DOCTORAT VÉTÉRINAIRE

DIPLÔME D'ÉTAT

Soutenue devant la Faculté de Médecine de Paris en 1932.

PAR

Pierre-Lucien POTY

Né le 21 Janvier 1908 à Maubeuge (Nord)

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
DES
PHOSPHATES BICALCIQUE ET TRICALCIQUE
DANS L'ALIMENTATION DES ANIMAUX DOMESTIQUES

JURY { *Président* : FIESSINGER, Professeur à la Faculté de Médecine
 { *Assesseurs* : { DECHAMBRE { Professeurs à l'École Nationale
 { LESBOUYRIES { Vétérinaire d'Alfort

PARIS

VIGOT FRÈRES, ÉDITEURS

23, RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 23

1932

PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'ÉCOLE VÉTÉRINAIRE D'ALFORT

Directeurs honoraires : MM. P.-J. CADIOT et H. VALLÉE

Directeur : M. E. NICOLAS

Professeurs honoraires : MM. G. BARRIER, Inspecteur général
honnaire des Ecoles Vétérinaires; P.-J. CADIOT,
H. VALLÉE

PROFESSEURS ET CHARGÉS DE COURS

	MM.
Anatomie descriptive des animaux domestiques. . . .	BRESSOU.
Physiologie, thérapeutique générale	MAIGNON.
Physique et Chimie médicales, toxicologie, pharmacie.	NICOLAS.
Parasitologie et maladies parasitaires, clinique; Zoo- logie.	HENRY.
Pathologie médicale des équidés et des carnassiers, clinique; sémiologie et propédeutique, jurispru- dence.	ROLIN.
Pathologie chirurgicale des équidés et des carnassiers, clinique; anatomie chirurgicale; médecine opé- ratoire et ferrure.	COQUOT.
Pathologie bovine, ovine, caprine, porcine et aviaire, clinique; médecine opératoire, obstétrique	LESBOUYRIES.
Pathologie générale et microbiologie, maladies micro- biennes et police sanitaire, clinique	PANISSET.
Histologie et embryologie, anatomie pathologique; autopsies.	PETIT.
Zootéchnie et économie rurale.	DECHAMBRE.
Agronomie, botanique et hygiène; matière médi- cale	{ DECHAMBRE. et HENRY.
Industrie et contrôle des produits d'origine animale . .	VERGE.

PROFESSEUR AGRÉGÉ

M. LESBOUYRIES

CHEF DE TRAVAUX AGRÉGÉ

M. SIMONNET

CHEFS DE TRAVAUX

MM. BRION, GORET, MONVOISIN, MOUSSU (R.), VALADE

La Faculté de Médecine et l'Ecole Vétérinaire déclarent que les opinions
émises dans les dissertations qui leur sont présentées doivent être consi-
dérées comme propres à leurs auteurs et qu'elles n'entendent leur donner
ni approbation, ni improbation.



A MA FEMME

A MES BEAUX-PARENTS

Faible hommage de ma reconnaissance.

A MON COUSIN ALBERT BRUNO

*Qui a toujours été pour moi un guide
précieux et bienveillant.*

A MES GRANDS-PARENTS

A M. LE PROFESSEUR FIESSINGER

de la Faculté de Médecine de Paris.

A M. LE PROFESSEUR DECHAMBRE

A M. LE PROFESSEUR LESBOUYRIES

A TOUS MES MAITRES

INTRODUCTION

Les animaux domestiques trouvent dans leur ration, lorsqu'elle est bien constituée, le Phosphore et le Calcium dont ils ont besoin.

Dans les grains et leurs dérivés (issues, tourteaux, drêches) le phosphore est relativement plus abondant que le calcium. Dans les fourrages, foin ou pailles, c'est inversement le calcium qui prédomine.

Les aliments naturels sont très irrégulièrement pourvus de phosphore et de calcium. Dès que l'on envisage la teneur des aliments en cendres et surtout la nature de ces cendres, on s'aperçoit que de nombreux régimes artificiels, maintes substitutions faites à l'équivalence de calories ou d'azote sont loin d'être rationnelles du point de vue de ces apports minéraux. D'autres régimes, suffisamment pourvus de phosphore sont déficitaires en calcium et inversement. On sait qu'il ne suffit pas que les matières minérales soient représentées dans un régime selon un certain minimum, il faut encore, pour leur bonne utilisation, qu'elles s'y trouvent dans des rapports déterminés. Dans le cas qui nous occupe, la non-observation de ce rapport peut causer un déséquilibre amenant des troubles graves dans la croissance, l'entretien, la reproduction de nos animaux.

Il y a insuffisance permanente de ces deux éléments dans les régions granitiques et dans toutes celles dont le sol est pauvre en chaux et en acide phosphorique, et insuffisance occasionnelle après les années de grande sécheresse, un peu en toutes régions, d'où les conséquences de cachexie osseuse.

ostéomalacie, stiff-sickness, ostéoclastie, rachitisme, etc...

L'insuffisance de phosphore contribue d'une façon très nette à la mise bas de veaux anormaux, les auteurs sont d'accord pour l'affirmer.

Il y a dans la gestation, la lactation, une très grande exportation de chaux et d'acide phosphorique de la part de l'organisme producteur. Si la ration n'apporte pas ces éléments nécessaires, et sous une forme assimilable, la perte, forcée, se fait aux dépens des réserves de l'organisme. Le jeune a absolument besoin de ces minéraux pour sa croissance, pour la formation de son squelette.

D'innombrables expérimentateurs ont cherché soit à compléter des rations pauvres en matières minérales par un apport judicieux, soit à disposer ces éléments dans la ration, selon les rapports optima. Pour les éléments phosphore et calcium, ces additions aux rations ont été faites, selon les auteurs, avec de nombreux produits tels que la chaux banale, la farine d'os, les os calcinés, le phosphate brut, le carbonate de chaux, le lactate de chaux, etc

Nous tenterons ici de montrer que l'on peut tout aussi bien employer le phosphate de chaux précipité minéral, phosphate tricalcique ou mieux bicalcique. Nous verrons que de nombreux auteurs ont montré que ces phosphates étaient parfaitement assimilables par l'organisme animal, avec toutefois une supériorité du bicalcique, mais sans jamais préciser dans quelles conditions ils pouvaient être employés. Avec les faibles moyens dont nous avons pu disposer nous avons tenté de résoudre le problème.

CHAPITRE PREMIER

LE PHOSPHORE ET LE CALCIUM DANS L'ORGANISME

Il y a quarante ans on était peu renseigné sur le rôle des matières minérales dans l'organisme. Les traités d'alimentation datant de cette époque sont presque muets sur la nécessité d'inclure dans la ration les éléments minéraux nécessaires à l'économie. Leur rôle était peu connu. Si lors des dosages des éléments constituant les rations on tenait compte de leur existence, on ne s'occupait guère de leur rôle dans l'organisme et surtout des quantités minimales nécessaires. En 1893, année de grande sécheresse il y eut une véritable disette de fourrages et par là de très nombreux cas de cachexie osseuse, ostéomalacie, ostéoclastie et autres maladies semblables du système osseux.

Grandeau et Bougartz rapportèrent ces accidents à un défaut d'acide phosphorique et de chaux consécutif à cette sécheresse; Kellner arrive aux mêmes conclusions. Puis viennent à l'appui de ces théories les expériences de Seelhorst : analyse de 2 trèfles de provenance identique l'un arrosé, l'autre ayant manqué d'eau.

Babcock à la station du Wisconsin constate des troubles après l'hiver au cours duquel le bétail a été nourri du foin de la période sèche.

D'autres auteurs dont l'énumération serait fastidieuse étudient ensuite la teneur des aliments en principes minéraux, les troubles apparaissant lors de leur déficience dans la ration et les apports possibles.

C'est la découverte des vitamines en 1912 par Funck qui donne un jour nouveau à ces recherches et par suite éclaire le métabolisme du phosphore et de la chaux.

Depuis cette date les chercheurs se sont attachés à ce problème et on connaît aujourd'hui sous quelle forme et quelle quantité le calcium et le phosphore sont ingérés et excrétés par nos animaux. On pense connaître le rôle qu'ils y jouent mais on n'est pas encore bien renseigné sur les multiples réactions auxquelles ils prennent part.

Le calcium et le phosphore sont avec le fer les éléments minéraux les plus importants pour l'organisme. Ils constituent une masse tangible, largement représentée en poids. De ce point de vue, ils dépassent de loin les autres éléments, tels que le zinc, l'arsenic, l'iode, le cuivre, le cobalt, le titane, le nickel, le brome, le fluor, etc..., appelés les infiniments petits chimiques. C'est pour cela qu'on a pu les inclure, avec le sodium, le potassium, le soufre etc..., parmi les matières minérales plastiques, par opposition à ces infiniments petits difficiles à mettre en évidence. Le phosphore et le calcium, à eux seuls représentent près des $\frac{3}{4}$ des cendres.

LE PHOSPHORE. — Il existe dans l'organisme sous des formes minérales et des formes organiques. Les formes minérales sont les phosphates insolubles du tissu osseux, le phosphate de chaux qui à lui seul représente les $\frac{85}{100}$ des sels minéraux de l'os et le phosphate de magnésium, les phosphates solubles des tissus mous et des humeurs, en proportion bien plus faible : le phosphate de potasse que l'on trouve surtout dans les muscles et les phosphates du sang.

Les formes organiques sont les phosphatides ou graisses phosphorées (lécithines, céphalines) les phosphoprotéines (caséine, caséinogène, ovovitelline du jaune d'œuf) et les nucléoprotéïdes des noyaux cellulaires,

Le phosphore est très abondant dans le squelette, les muscles, les glandes, le cerveau, la moelle épinière et les nerfs, les éléments reproducteurs, le sang, le lait. Après l'avoir employé pour son fonctionnement, l'organisme en rejette l'excédent et cela presque uniquement sous forme de phosphates minéraux. Chez le carnivore, cette excrétion se fait surtout par l'urine, chez l'herbivore au contraire surtout par les fèces, et chez l'omnivore par les voies intestinale et urinaire de façon à peu près égale.

LE CALCIUM. — Ainsi que le phosphore, on le trouve sous des formes minérales et des formes organiques.

Les formes minérales sont les sels de chaux insolubles du tissu osseux, dont le phosphate de calcium est le plus important, puis le carbonate et le fluorure de calcium, et des sels de chaux insolubles du sang et des humeurs.

Les formes organiques sont peu connues; on cite le calcium en combinaison avec des substances organiques dans les noyaux des cellules vivantes. L'organisme excrète le calcium presque uniquement par les fèces, l'urine en contient peu.

Envisageons succinctement le rôle du phosphore et du calcium dans l'organisme.

Nous avons vu leur énorme proportion dans le squelette. Moins abondants dans les tissus mous, ils y jouent cependant un rôle primordial et les quelques grammes que l'on y trouve sont loin d'être négligeables.

Avec les autres éléments minéraux, le phosphore et le calcium interviennent dans la concentration moléculaire des humeurs et des cellules et dans le maintien de la pression osmotique. L'ion Ca joue un grand rôle dans les déplacements de l'eau dans l'organisme.

On sait que les tissus et les humeurs présentent une réaction constante.

Or les phénomènes chimiques incessants résultant de

l'accomplissement des différentes fonctions tendent à rompre cet équilibre acido-basique : les uns créent un état d'acidose, les autres une prédominance de l'alcalinité.

L'être vivant conserve sa réaction constante grâce à un mécanisme régulateur merveilleux, et c'est surtout contre l'acidose qu'il doit lutter. Ces acides sont amenés par les aliments ou produit par l'organisme soit au niveau du tube digestif soit au sein même des tissus. L'avoine, les drêches de distillerie et de brasserie, le blé, le maïs... etc., donnent des produits de déchets acides. Les tourteaux de lin, le son et la paille de blé, le foin, les betteraves, la luzerne sèche... etc., au contraire donnent des déchets alcalins. Les acides minéraux ainsi que les acides organiques ne sont pas brûlés dans certains cas : l'acide oxalique chez le jeune herbivore par exemple. Au niveau du tube digestif, il y a lors des fermentations, production d'acides et ceux-ci sont surtout importants chez les ruminants. Ces acides sont neutralisés par l'ammoniaque et les bases des carbonates et des phosphates.

Ceci montre, dans ce processus de régulation, la part importante qui revient aux matières minérales et en particulier au phosphore et au calcium. D'où l'intérêt de fournir ces éléments nécessaires.

Une notion importante est venue s'ajouter, c'est celle de la nécessité d'un équilibre phospho-calcique.

Hart et Steenbock en 1913 poursuivant sur des vaches et des chèvres en lactation, leurs expériences sur le métabolisme du phosphore et du calcium mettent en évidence le fait suivant : la quantité de Ca ou de P ingérée importe peu ; ce qui est primordial, c'est un équilibre, un rapport optimal entre ces deux éléments dans la ration.

Auparavant, Weiske avait montré sur de jeunes lapins, qu'un excès de l'un ou l'autre de ces deux éléments minéraux nuisait à l'assimilation de l'autre. Ses expériences

prouvèrent qu'un excès de phosphore dans la ration entraînait l'utilisation du calcium et agissait même à la longue comme décalcifiant, l'excédent de phosphore s'éliminant en entraînant avec lui une certaine quantité de calcium. Ceci explique les troubles occasionnés par une alimentation dite concentrée : l'éleveur cherchant un meilleur rendement tend à augmenter dans la ration la proportion des grains, des tourteaux, des sons; il donne des suppléments de ration tels que le sang, les drêches; or ces aliments renferment un gros excès de phosphore vis-à-vis du calcium. Si on conseille à cet éleveur un apport de chaux sous forme de poudre d'os ou d'un mélange de phosphates-tricalcique et bicalcique, avec du carbonate de chaux, les troubles cessent. Plus simplement l'introduction de foin de graminées et de légumineuses, de paille dans la ration y mettent rapidement un terme : c'est que ces aliments riches en chaux et pauvres en acide phosphorique ont rétabli l'équilibre phospho-calcique dans la ration.

Il faut noter que pour nos jeunes animaux, le lait de la mère présente ces deux éléments en quantités presque égales, si bien que ce danger n'est pas à craindre. Mais l'organisme en voie de croissance a des besoins plus élevés pour le phosphore que pour le calcium. De sorte qu'une prédominance même très forte de P par rapport à Ca ne serait pas préjudiciable au jeune animal.

La valeur optima de ce rapport $\frac{\text{Ca}}{\text{P}}$ peut se déterminer de deux façons : l'expérimentation au laboratoire et l'observation des résultats donnés par les différentes rations dans la pratique.

Au laboratoire, les recherches ne sont souvent possibles que sur de petits animaux : la souris, le rat, le cobaye, le lapin, le chien, et l'on ne peut prétendre appliquer aux

sont pas optima. Ces accidents ne sont pas toujours cons-
grands animaux d'une façon péremptoire ce qui est vrai
pour de petits rongeurs. Mais le nombre des observations
recueillies sur plusieurs de ces petites espèces permet de
suppléer à cette lacune. On contrôle ensuite les résultats
obtenus en les appliquant dans la pratique de l'élevage ce
qui permet de trouver pour chaque espèce une valeur
approximative de ce rapport optimum. Des expériences
faites sur de jeunes rats dès leur sevrage tendent à prouver
que $\frac{\text{Ca}}{\text{P}}$ se rapproche sensiblement de $\frac{1}{1}$. On peut leur pré-
parer des rations où ce rapport aura des valeurs très diffé-
rentes.

Simonnet établit deux régimes alimentaires où $\frac{\text{Ca}}{\text{P}}$ est
dans le premier de 6,3 et dans le second de 1,2. Les rats se
développent bien dans les deux cas, mais tandis que ceux
du second lot restent normaux, les autres deviennent rachi-
tiques.

Les bilans du calcium et du phosphore dans le premier
régime seul sont négatifs, la calcémie et la phosphatémie
moins importantes, les cendres trois fois moindres, et le
phosphore du tissu osseux nettement inférieur. De plus,
tandis que le second régime donne une ossification et une
calcification normales, on constate chez les jeunes rats nour-
ris au premier régime des lésions très nettes qui prouvent le
rachitisme.

Ceci montre que dans de nombreux cas où ce rapport est
défectueux l'organisme réagit défavorablement. On conçoit
très bien que l'adulte peut être atteint lui aussi puisque,
comme nous l'avons vu, un trop grand apport de l'un de ces
éléments entraîne la désassimilation de l'autre. Or, si l'on
considère la grande variété des aliments naturels il est évi-
dent qu'il se trouve forcément des rations où les taux ne

tatés et il est permis de penser que de nombreuses formes frustres de maladies osseuses existent chez nos animaux, et d'en rapporter un certain nombre à cette cause. Mais la pratique ne nous a pas encore enseigné qu'elle est la valeur de ce rapport pour les diverses espèces d'animaux domestiques. On sait que pour le poulain elle voisine $\frac{1}{1,5}$, que pour

le veau les résultats varient de $\frac{1}{0,5}$ à $\frac{1}{1}$. Il faut observer de très près ce que l'on obtient avec les rations naturelles, y doser le phosphore et le calcium et voir la proportion optima. Mais les rapports étudiés donnent souvent des valeurs divergentes. On peut toutefois remarquer que la majorité tendent vers l'unité ce qui concorde d'ailleurs avec les expériences de laboratoire.

Comme les autres éléments minéraux normalement dissous dans le plasma sanguin, le phosphore et le calcium jouent un rôle important dans l'activité des différents tissus ou organes. Ce rôle pressenti par Ringer en 1882 est aujourd'hui prouvé.

On connaît la nécessité de la présence des sels de chaux pour la formation de la diastase (thrombine) produisant la coagulation du sang. Ce même calcium est nécessaire à la pectase pour transformer la pectine, à la presure pour la coagulation du lait.

Selon Hugonneng et Florence, les diastases seraient constituées par un élément minéral supporté par un colloïde lequel lui conférerait du fait de l'état d'extrême division sous lequel le minéral se trouve, les propriétés caractéristiques des catalyseurs. Cet élément minéral joue donc un rôle spécial selon son état physique.

Les équilibres humoraux entre le calcium, le potassium et le sodium règlent l'excitabilité des fibres musculaires. Or parmi ces corps, le calcium se manifeste par son pouvoir

modérateur. Expérimentant sur de jeunes chiens soumis à une alimentation pauvre en sels calcaires, Sabbatani a montré qu'ils présentaient une excitabilité galvanique accrue, Weigert qu'ils pouvaient succomber de convulsions et Mac Collum, que l'injection, dans un membre, de sang décalcifié y déterminait une extrême excitabilité des nerfs.

Le calcium intervient certainement dans le rythme de la respiration mais son action y est interprétée de différentes façons. Pour les uns il est un accélérateur de cette fonction respiratoire pour d'autres c'est au contraire un modérateur.

L'action du calcium sur le cœur a été nettement démontrée (Locke, Ringer). Quant à son rôle dans la diurèse, connu depuis longtemps, on tend à admettre qu'il n'agirait que par élévation de la calcémie : à dose faible il serait simplement cardiotonique à dose forte il serait diurétique. Il semble que le calcium agisse également sur le développement de l'embryon (Erbst). D'après Martin, le calcium serait neutralisant pour les déchets toxiques. Selon Hamburger il augmenterait le pouvoir phagocitaire des globules blancs et, selon Cook il imperméabiliserait les parois cellulaires.

ASSIMILATION. — Nous connaissons la forme d'ingestion du calcium et du phosphore ainsi que l'état sous lequel l'organisme s'en débarrasse soit après les avoir employés soit parce qu'il en est trop abondamment pourvu. Mais nous ne pouvons guère discerner dans l'excrétion la part qui revient à l'excrétion vraie, c'est-à-dire la portion de ces sels qui a été utilisée et transformée au sein même des tissus, de celle qui ne représente qu'un simple passage dans le tube digestif. Nous ignorons presque les diverses transformations que subit tel ou tel sel, dans l'estomac, l'intestin, le sang, les humeurs, les divers tissus. De même les lois qui régissent la

répartition de ces éléments minéraux dans l'organisme et sa désassimilation dans les divers tissus nous sont très peu connues. Mais on sait qu'un certain nombre de facteurs : physiques, chimiques, biologiques influent sur leur assimilation.

On pensait jadis que seuls les sels de chaux solubles étaient utilisables et on niait que les sels insolubles fussent assimilables : selon tous les auteurs, l'ingestion de phosphate, de carbonate de chaux sans précautions spéciales était inefficace. Mais on sait aujourd'hui que ces sels insolubles peuvent être résorbés s'ils sont sous une forme assez divisée. L'intestin, par ses colloïdes et ses albuminoïdes en particulier, aide à leur passage dans le sang et les rend aussi utilisables que les sels solubles. D'autre part, l'action de ces derniers, tout en étant plus rapide parce qu'ils pénètrent plus facilement dans le sang, est éphémère sur le taux du calcium sanguin et presque inefficace sur la mise en réserve de ce minéral. Des sels d'usage courant comme le chlorure, le lactate, le glycérophosphate de chaux, employés en ingestion ou en injection sont excellents en thérapeutique parce qu'ils modifient rapidement la calcémie, mais leur action est fugace car le rein les élimine aussi rapidement qu'ils ont été absorbés. Au contraire, les composés organiques tels qu'il en existe en abondance dans les végétaux donnent un bilan positif. Il semble que le calcium se fixe mieux dans l'organisme lorsqu'il est en combinaison étroite avec d'autres éléments. Mais il ne faut pas oublier que l'état colloïdal sous lequel se trouvent ces composés calciques contribue beaucoup à leur assimilation. Winter et Müller expérimentant sur des chèvres en lactation ont réussi à fixer dans leur organisme d'importantes quantités de calcium en précipitant du phosphate tricalcique au sein d'un empois d'amidon ce qui équivalait à faire ingérer ce sel dans la ration sous une forme extrêmement ténue. Hart,

Winter et Müller montrent que la dessiccation des plantes, modifiant l'état colloïdal des composés calciques qu'elles contiennent lesquels sont alors réduits, diminue chez nos animaux la faculté de fixation du calcium.

Depuis quelques années des auteurs (Schiff, Peiper) ont tenté de montrer l'influence du système nerveux végétatif sur la calcémie. Billigheimer prétend que la calcémie baisse avec l'injection d'adrénaline et augmente si on injecte de la pilocarpine. On prétend de même que les glandes vasculaires sanguines influent sur le métabolisme du calcium ainsi que les glandes génitales : le taux du calcium sanguin baisserait chez les femelles castrées. Mais il faut observer que la gestation ne modifie pas la calcémie malgré la forte perte de calcium qu'elle entraîne pour la mère et il n'y a hypocalcémie que si le système régulateur est troublé.

L'influence du corps thyroïde n'est pas discutable, mais pour les uns c'est un organe calcifiant tandis que d'autres l'accusent de faire baisser la calcémie. Mais de nombreux auteurs s'accordent pour constater que le suc thyroïdien aide puissamment la formation des cals, la consolidation des fractures.

Le thymus joue un rôle important dans l'assimilation du calcium et du phosphore. L'ablation de cet organe chez les jeunes animaux amène un développement incomplet du squelette et un appauvrissement des os en sels calcaires qui les rend flexibles, friables et fragiles. Il en est de même des parathyroïdes. Mac Collum a même voulu y voir une action comparable à celle du pancréas pour le glucose et il appelle « diabète calcaire » les accidents de la parathyroïdectomie, cette extirpation amenant un abaissement considérable de la calcémie et un retard dans l'ossification des animaux en voie de croissance. Mais cette opération déterminant de l'acidose, on a discuté pour savoir si la décalcification avait lieu par excrétion exagérée ou bien par augmenta-

tion des composés du calcium avec les produits du métabolisme.

Les Vitamines, quoique toujours inconnues quant à leur constitution, exercent sur le métabolisme calcique une influence qui n'est plus à démontrer surtout pour le facteur A liposoluble. Citons entre autres les expériences de Mellamby qui détermine du rachitisme expérimental chez de jeunes chiens avec une ration bien équilibrée, riche en chaux mais dépourvue de ce facteur A. Le phosphore est lui-même sous la dépendance de ce facteur mais il ne faut pas oublier que le rapport $\frac{P}{Ca}$ est encore bien plus important et il suffit qu'il soit troublé pour que le métabolisme de la chaux soit profondément bouleversé. N'est-ce pas en diminuant la teneur en phosphore des rations que Pappenheimer a réussi à déterminer le rachitisme expérimental?

La lumière solaire, comme l'huile de foie de morue, a la propriété d'entraîner la précipitation du calcium dans la couche chondro-calcaire des os. Hess et ses collaborateurs, étudiant le rachitisme, ont montré que les rayons solaires relevaient la phosphatémie chez les sujets atteints et amenaient leur guérison clinique. La carence en phosphore ne s'oppose à l'utilisation du calcium que dans l'obscurité. La lumière artificielle, et surtout celle des rayons ultra-violets a également une influence favorable sur le métabolisme de la chaux.

On sait que l'irradiation ultra-violette davantage même que l'héliothérapie relève la calcémie à la normale et parfois au-dessus.

On conçoit l'importance de ces différents facteurs. Ce sont le plus souvent des impondérables et leur nécessité n'est prouvée que par les troubles que provoque leur ab-

sence. Il faut donc en tenir compte dans l'alimentation de nos animaux : donner d'abord le phosphore et le calcium nécessaires afin de subvenir aux besoins de l'organisme, mais tenir compte de ces facteurs d'utilisation et de fixation, afin que cet organisme puisse tirer profit des éléments minéraux qu'on lui présente. Si ces facteurs sont de première importance lors de rations normalement minéralisées on peut juger du véritable désastre que représente leur absence lors de rations déficientes.

La Calcémie.

Le calcium se trouve dans le sang à la fois dans les globules et dans le plasma. La teneur totale est particulièrement fixe pour chaque espèce déterminée, l'organisme possédant vis-à-vis des éléments minéraux un système régulateur particulièrement bien organisé. C'est surtout dans le plasma que l'on reconnaît cette fixité de la teneur en calcium. Cet élément s'y trouve sous trois formes : des sels non dissociés (sulfates et bicarbonates), des ions calciques que mettent en liberté les molécules précédentes, et des combinaisons calcium-albumines non diffusibles. Ces dernières se dissocient d'ailleurs assez facilement. On a même pensé qu'elles pouvaient représenter une réserve de calcium facilement libérable ainsi que l'est l'oxyhémoglobine pour l'oxygène dissous. Le calcium ainsi combiné avec les albumines du plasma se maintient à l'état de pseudo solution, ne peut précipiter à l'état de phosphates calciques et reste à l'état de réserve sous une forme facilement utilisable; il est protégé par les colloïdes du sang. La grande fixité de la calcémie est assurée par un mécanisme régulateur très puissant et cela est fort heureux, vu le rôle important du calcium dans le métabolisme. La nourriture influe

peu sur la calcémie : des régimes artificiels très riches en chaux et en acide phosphorique observant la nécessité d'une valeur convenable du rapport $\frac{\text{Ca}}{\text{P}}$ sur des animaux d'expérience maintenus dans les meilleures conditions, n'ont jamais pu élever sensiblement le taux du calcium sanguin. Il en est de même des injections sous-cutanées, voire intraveineuse de sels solubles de calcium; le taux s'élève il est vrai mais ceci n'est que passager et il redevient normal. Cette élévation peut être définitive dans certains cas, lorsque le sujet présentait avant l'opération de l'hypocalcémie mais on ne constate jamais un taux durable qui soit supérieur au taux normal. Sieburg et Kessler ont montré que les ions calcium, introduits de la sorte en excès dans le sang, y séjournaient plus ou moins longtemps selon le sel injecté mais que l'on n'en pouvait jamais déceler plus d'une demi-heure après l'injection. Toutefois on arrive à dépasser légèrement cette durée si on incorpore ces sels solubles dans de la gélatine ou mieux dans de la gomme arabique.

Starkenstein montre qu'à dose égale l'injection intraveineuse agit bien plus rapidement et plus efficacement sur la calcémie que l'administration *per os*. Le nombre des expériences faites par les auteurs lève le doute que pourrait amener la connaissance des difficultés pratiques des dosages du calcium sanguin, lesquels ne peuvent se faire que par des microméthodes.

L'organisme se défend aussi bien contre l'excès d'apport minéral que contre son insuffisance. Si l'alimentation est trop riche en calcium par exemple : l'intestin offre une première barrière en formant des sels de chaux insolubles qui passeront en moins grande quantité dans la circulation. Si néanmoins la calcémie se trouve augmentée au delà de la normale, le rein intervient pour rétablir l'équilibre. Cette

excrétion est rapide et le calcium revient vite à son taux optimum, ceci s'appliquant évidemment à un sujet normal. L'injection intraveineuse ou l'ingestion de grandes quantités de sels solubles provoquent rapidement une forte hypercalcémie mais, selon Blum, l'organisme se défend par la concentration du sang et la diurèse et de ce fait le calcium en excès est rapidement éliminé. Ici encore, on a songé à comparer le métabolisme du calcium à celui du glucose.

En effet, l'élimination urinaire du calcium ressemble à celle du sucre sanguin; le sang présente pour ces deux corps une teneur minimum fixe nécessaire au bon fonctionnement des organes et ces substances sont toutes deux en partie mises en réserve sous la forme de combinaisons protéiques. Mais si on connaît le seuil d'élimination du sucre, celui du calcium reste inconnu.

L'organisme n'est pas moins bien armé pour lutter contre les causes qui tendent à faire baisser la calcémie ou la phosphatémie : carence d'apport, carence d'utilisation, troubles du métabolisme, qui augmentent l'excrétion. L'apport insuffisant de chaux ou d'acide phosphorique se rencontre plus souvent qu'on ne le croit : pays pauvres, rations composées des seuls aliments concentrés pauvres en chaux, etc. L'utilisation de la chaux ou de l'acide phosphorique ne peut se produire lorsque les facteurs physiques, chimiques, biologiques précédemment vus, font défaut; ce sont le plus souvent les vitamines qui manquent. On sait qu'il peut y avoir excrétion exagérée de calcium si le phosphore se trouve en excès dans le sang car ce dernier, pour quitter l'économie, entraînera une certaine quantité de calcium déjà fixé. De ces deux éléments minéraux c'est d'ailleurs le calcium qui se trouve le plus souvent insuffisant, et dans tous ces cas l'organisme réagit pour maintenir la calcémie à son taux normal en puisant dans les réserves de ses tissus. Et ces réserves, dont la presque totalité sont

contenues dans le squelette, sont formidables. C'est ce qui explique que ces carences (apport, utilisation...) peuvent rester longtemps inaperçues. Le squelette se décalcifie lentement, tant que la cause persiste, les organes ne sont intéressés que tardivement et de façon secondaire si bien que la perturbation du métabolisme ne nous apparaît qu'avec l'ostéoporose, l'ostéomalacie, le rachitisme, etc. Ceci explique encore comment un sujet présente des altérations osseuses après une période d'inanition.

PATHOLOGIE DE PHOSPHORE ET DU CALCIUM.

Lorsque manquent ces deux éléments, les troubles sont fréquents, quelques-uns immédiats, d'autres beaucoup plus connus à longue échéance.

Ces derniers sont surtout des altérations du squelette. A force de puiser dans la réserve que constitue son squelette le sujet se décalcifie et on arrive à l'ostéoporose puis au rachitisme ou à l'ostéomalacie. Elles sont amenées soit par une perturbation du métabolisme, soit par insuffisance d'apport, soit encore selon un mécanisme plus complexe par insuffisance d'utilisation. Les auteurs sont d'accord pour admettre que la carence d'apport crée l'ostéoporose la carence d'utilisation le rachitisme et l'ostéomalacie.

L'ostéoporose se caractérise par la raréfaction du tissu osseux : l'os est riche en eau mais pauvre en résidus secs et surtout en phosphates de chaux. L'altération frappe tantôt la diaphyse tantôt l'épiphyse. Mais il n'y a pas de lésion osseuse, le tissu ostéoïde n'est pas atteint. L'ostéoporose s'obtient facilement : si on soumet de jeunes chiens à une alimentation pauvre en sels de chaux on s'aperçoit, en prolongeant quelque peu ce régime, que les os se déforment,

que leurs extrémités s'incurvent. Ce n'est pas du rachitisme mais on observe à la palpation des membres, par exemple, une douleur inaccoutumée : les os sont comme boursoufflés, sensibles, et on peut observer des fractures spontanées. L'os n'a plus sa texture ni sa composition habituelle du fait du prélèvement qu'il a subi en vue de maintenir le taux du calcium dans l'économie.

Le rachitisme et l'ostéomalacie se distinguent de l'ostéoporose parce qu'ils présentent des altérations histologiques de l'os; ce n'est pas ici un simple trouble d'apposition calcaire, ce sont deux maladies bien déterminées. Elles présentent d'ailleurs de grandes analogies.

Le rachitisme est dû soit à l'absence d'apport de phosphates de chaux, soit le plus souvent à une insuffisance du pouvoir fixateur du phosphore et du calcium, c'est-à-dire à l'absence du facteur A liposoluble (ou vitamine D selon la nomenclature) l'ingestion d'un excès d'éléments minéraux ne peut suppléer à l'absence totale de vitamine. La substance minérale de l'os sec baisse jusqu'à tomber à 20 %, le taux normal étant de 60 %. C'est surtout le calcium qui manque et on constate une diminution sensible du calcium sérique. Mais il y a également une très forte hypophosphatémie; de 50 milligrammes pour 1.000 grammes de sérum, que représente la normale, on constate jusqu'à 25 milligrammes. On sait que le rachitisme expérimental est dû, chez le jeune sujet en voie de croissance à une carence en phosphore.

Quant au rachitisme spontané il est dû, à côté de la carence vitaminique, le plus souvent à un déséquilibre phospho-calcique : insuffisance de phosphore ou excès de calcium. Dans ce dernier cas, le phosphore est moins bien assimilé, et l'alcalose intestinale amène inéluctablement l'hypophosphatémie. Selon certains auteurs ce phénomène serait dû à la précipitation du phosphore sous forme de phosphates calciques insolubles.

La carence en calcium entraîne la décalcification et l'ostéomalacie. L'os perd sa chaux au point que sa densité peut tomber de 1, 9 à 0,7; il perd sa sonorité. Le sujet excrète plus de calcium qu'il n'en absorbe. Selon Robert, qui dans l'Aube a bien étudié la maladie, l'ostéomalacie serait fréquente surtout dans les terrains pauvres en acide phosphorique et chaux et riches en acide silicique. La végétation n'étant qu'un reflet du terrain sur lequel elle vit, les animaux nourris dans de tels pâturages présentent d'une part une assimilation calcaire insuffisante par suite de la pauvreté en sels minéraux de la ration, d'autre part une désassimilation exagérée en raison de l'accumulation dans l'organisme d'éléments acides provenant de l'alimentation (acide silicique) qui détermine la décalcification des os déjà formés. Ceci est vérifié par la constatation que beaucoup d'ostéomalaciques sont acidosiques.

Selon Miles et Freud, l'ostéomalacie serait une maladie de carence voisine du rachitisme; il y aurait défaut de calcium et d'un facteur vitaminique qui permet sa fixation.

Pour Marek et Welmann, le rachitisme et l'ostéomalacie ne sont pas nécessairement des maladies par carence de vitamine mais seulement des maladies où la carence est conditionnelle. L'apport insuffisant de chaux et d'acide phosphorique aussi bien en quantité qu'en proportion est le plus important; en l'absence de vitamine un rapport optimum entre Ca et P suffirait.

De nombreuses théories nouvelles élargissent le champ d'action du calcium et du phosphore en pathologie. C'est ainsi que l'hypocalcémie serait à la base de certaines hémorragies, que la constipation aurait parmi de nombreuses causes un trouble du métabolisme calcique..., etc. Le déséquilibre phospho-calcique est incriminé dans la fièvre vitulaire; le rôle du calcium y est prouvé puisque la guérison peut s'obtenir par injection intraveineuse de glu-

conate de calcium, ce qui on le sait est un moyen rapide de relever la calcémie.

Voici ce que l'on peut esquisser du rôle du phosphore et du calcium dans l'organisme.

Il reste beaucoup d'inconnues, notamment les diverses transformations que ces éléments subissent dans l'organisme et leur rôle exact dans les complexes qu'ils forment avec les substances organiques.

Les bilans en sont difficiles à établir en raison du mélange intime dans les fèces de la fraction qui échappe à l'absorption et de celle qui est excrétée. De plus nous savons que la voie d'élimination varie avec le régime. Chez l'herbivore, c'est surtout la voie intestinale, chez le carnivore surtout la voie urinaire; quant à l'omnivore, les deux émonctoires se partagent l'excrétion. Les petits à la mamelle, chez toutes les espèces, éliminent surtout par l'urine.

Sur 100 parties d'anhydride phosphorique on en trouve :

	dans l'urine	dans les fèces
Chez l'herbivore	0,4 à 1,7	80 à 100
Chez le chien nourri de viande. . .	92	8
Chez l'homme (régime mixte). . .	60 à 75	39 à 25
Chez le veau à la mamelle	95	1

On remarque que la fraction intestinale des phosphates augmente avec la teneur des aliments en chaux.

Pour la chaux, on trouve sur 100 parties ingérées :

	dans l'urine	dans les fèces
Chez l'herbivore	5	95
Chez le chien nourri de viande. . .	27	73
Chez l'homme	20 à 40	80 à 60

Si, après consommation de viande, le carnivore rejette le phosphore plus par l'urine que par les fèces, il est notoire

qu'après absorption d'os, le chien élimine par ses excréments solides de notables quantités de phosphate tricalcique, d'où la blancheur que prennent ces excréments richement pourvus de ferments digestifs, après exposition à l'air et à la pluie.

CHAPITRE II

LE PHOSPHORE ET LE CALCIUM DANS LES ALIMENTS

Le phosphore et le calcium sont assez inégalement répartis dans les aliments naturels; peu de ceux-ci présentent une égale proportion de ces éléments minéraux. Les uns, comme les grains et leurs dérivés (issues, tourteaux drêches) sont plus riches en phosphore qu'en calcium; les autres, comme les fourrages (foins ou pailles) contiennent au contraire davantage de calcium que de phosphore. Le mélange de ces divers aliments rétablit plus ou moins l'équilibre; mais la tendance qu'ont les éleveurs de chercher une production rapide en augmentant de plus en plus la proportion des aliments concentrés dans la ration, tend à rompre cet équilibre phospho-calcique en faveur du phosphore. De plus, si les matières minérales agissent sur le métabolisme par leur caractère acide ou alcalin, les aliments qui les contiennent peuvent eux-mêmes se classer en aliments acido-gènes et alcalogènes selon que leurs produits de désassimilation présentent un excès d'acides ou de bases.

Des aliments normalement riches en phosphore ou en calcium peuvent en manquer lors des années de sécheresse ou encore s'ils proviennent de sols pauvres en éléments minéraux.

Le phosphore se trouve dans les aliments, comme dans l'organisme animal, sous forme organique et sous forme minérale. Les formes organiques sont par exemple la caséine

du lait, la vitelline du jaune d'œuf, qui sont des phosphoprotéïdes. De même, le phosphore dans les graines des céréales entre en composition avec les matières organiques pour former des éthers phosphoriques d'hydrates de carbone; lorsqu'ils sont unis au calcium et au magnésium, ces sels organiques sont connus sous le nom de phytine. Les graines de céréales renferment 4,23 à 4 pour 1.000 de phosphore, mais une fois réduites en farine, elles perdent près d'une moitié de leur phosphore, l'autre moitié restant dans les enveloppes. Ceci explique la grande richesse des sons en phosphore et leur importance dans le régime du point de vue de l'apport minéral.

Les fourrages verts sont au contraire très pauvres en phosphore, d'où la nécessité d'un complément minéral pour les animaux au pré, surtout s'ils sont en période de croissance. La dessiccation élève un peu le pourcentage mais le phosphore y reste insuffisant tant en quantité que comparativement à la teneur en calcium.

Le lait, seul aliment du jeune, lui apporte le phosphore nécessaire à sa croissance; mais la richesse en phosphore varie selon l'espèce : le lait de vache en contient 0,93 ‰, celui de la chèvre, plus riche, 1,03 ‰.

Le calcium est réparti dans les aliments de façons très différentes : les tourteaux, les betteraves (racines), les graines des céréales et leurs farines, les pommes de terre n'en contiennent qu'une quantité insuffisante. Les feuilles de betterave sont riches en calcium, ainsi qu'en phosphore d'ailleurs. Mais ce sont les fourrages qui présentent la plus forte teneur en calcium, et parmi eux, le foin de luzerne en est le plus abondamment pourvu. La paille, assez faiblement minéralisée par rapport au foin contient toutefois un peu plus de calcium que de phosphore; la teneur varie d'ailleurs selon les pailles (blé, avoine...).

C'est le calcium qui se trouve le plus fréquemment en

déficit dans l'alimentation des animaux domestiques.

Les conséquences en sont particulièrement graves pour les femelles en lactation ou en état de gestation ainsi que pour tous les organismes en voie de croissance. Il y a une perte énorme d'éléments minéraux pour la mère par suite de la sécrétion lactée ou de l'édification des tissus du fœtus, et pour le jeune animal, un besoin important pour la formation de son squelette.

TENEUR DES ALIMENTS EN PHOSPHORE ET EN CALCIUM POUR 1.000 GRAMMES DE MATIÈRE SÈCHE			
Substance	Cendres totales	Ca	P.
Blé { grain	1,8	0,6	4 à 9
	36 à 50	3	2,4
		son	1,8
Avoine grain.	30	1,4	8,6
Orge grain.	20	0,6	8
Maïs grain.	14	0,3	6,8
Sarrazin grain.	14	0,6	6,6
Feverole grain.	36	1,7	14,1
Foin moyen.	70	11	5,1
Luzerne.	74	32	6,1
Betterave fourragère = . . .			
Racine	75	2,5	6
Feuille	153	17	10
Pomme de terre	36	1,2	6,4
Chou rave =			
Racines.	57	10	14,6
Feuilles.	168	5,6	17,2

Le lait de la mère suffit aux tout jeunes animaux tant pour le calcium que pour le phosphore; le lait de vache, par

exemple, renferme pour 100 parties de matières sèches, 1,510 de chaux et 1,86 d'anhydride phosphorique. Le lait contient peu de combinaisons phosphorées organiques, mais par contre beaucoup de phosphates qui sont parfaitement assimilés. Kellner a observé que le lait favorisait la fixation du phosphore pendant la croissance.

L'eau est une source d'apport de chaux qui n'est pas à négliger. Cet apport est plus ou moins important selon qu'il s'agit d'eau ayant traversé des terrains calcaires ou non; l'eau de pluie est pauvre en chaux.

Afin de montrer la diversité de la teneur des aliments en chaux et en acide phosphorique, citons le tableau suivant (voir page précédente).

Nous voyons que certains aliments présentent un excès de phosphore, d'autres un excès de calcium. Ceci nous montre la nécessité d'une alimentation variée afin d'équilibrer les apports minéraux, et surtout de présenter à l'organisme le phosphore et le calcium sous un rapport convenable. Voici d'après H. Simonnet les valeurs des $\frac{\text{Ca}}{\text{P}}$ dans quelques aliments naturels.

1° *Aliments renfermant un excès de Phosphore.*

	Valeur de $\frac{\text{Ca}}{\text{P}}$
Maïs	1 / 20
Blé (grain).	1 / 15
Son.	1 / 15
Germes.	1 / 14
Riz.	1 / 11
Sang	1 / 9
Avoine	1 / 6
Pomme de terre	1 / 5
Farine de tourteau de coton	1 / 5
Drèches de brasseries et de distilleries.	1 / 3
Gluten	1 / 2,5
Farine de tourteau de lin.	1 / 2

2° *Aliments renfermant un excès de calcium.*

	Valeur de $\frac{\text{Ca}}{\text{P}}$
Paille de blé.	1 / 0,8
Lait	1 / 0,7
Foin de graminées	1 / 0,6
— luzerne	1 / 0,2
— trèfle	1 / 0,1

D'après ce que l'on sait de la valeur optimum de Ca / P et de son importance, il faudra composer les rations de façon que ce rapport y soit aussi voisin que possible de l'unité.

D'autre part, pour obtenir une meilleure utilisation des aliments ainsi que des éléments minéraux, on devra tenir compte de la réaction des produits de désassimilation de chaque aliment. Le blé, le maïs, l'avoine, les drêches de distilleries et de brasseries... etc., sont acidogènes alors que les tourteaux de lin, le son et la paille de blé, le foin de prairie et de luzerne, le chou, les pulpes de betterave, la pomme de terre, le petit lait, etc. sont alcalogènes. Ce pouvoir acidogène ou alcalogène des aliments peut être mesuré : Forbes l'a évalué en centimètres cubes de solution normale d'acide ou d'alcali par 100 grammes de matière sèche. Et ceci est important surtout du point de vue des substitutions on s'aperçoit que certaines d'entre elles qui paraissaient possibles à première vue, s'avèrent dangereuses après un examen approfondi.

Enfin, il ne faut pas oublier que des aliments normalement riches en éléments minéraux peuvent en manquer après une année de sécheresse. On se trouve alors en présence de tous les accidents de carence, et cela aussi bien au pré pendant la bonne saison qu'à l'étable l'hiver lorsque les animaux ingèrent les fourrages récoltés pendant l'année sèche.

Il en est de même des pays où le sol est pauvre en éléments minéraux, la végétation a une teneur différente selon le sol où elle a poussé et on sait que les foins ont une composition chimique très variable à ce point de vue.

CHAPITRE III

LES BESOINS DE L'ORGANISME EN PHOSPHORE ET EN CALCIUM

La réalité des besoins en éléments minéraux n'est plus à prouver. On connaît la teneur de l'organisme en phosphore et en calcium, le rôle physiologique qu'ils y jouent ainsi que leur rôle pathologique. Ce sont surtout les troubles résultant de leur absence, troubles qui cessent lors d'apport minéral judicieux, qui démontrent leur nécessité.

Mais ces besoins varient, compte tenu de l'espèce animale, selon que l'organisme est en période de croissance ou adulte. Dans ce dernier cas il faut encore distinguer l'adulte à l'entretien, au repos, et l'adulte producteur, c'est-à-dire élaborant des substances spéciales telles qu'un fœtus, du lait... pour les mammifères, des œufs pour les oiseaux..., etc.

Pour l'entretien de l'organisme adulte au repos, il est assez difficile de fixer le minimum de phosphore et de calcium nécessaires. Il faudrait faire la part exacte qui revient à l'excrétion vraie, c'est-à-dire à la portion de ces sels minéraux rejetés après avoir servi à l'économie, et celle qui ne représente qu'un simple passage à travers le tube digestif. Or, on ne sait pas exactement sous quelle forme l'organisme retient le phosphore et le calcium; rien ne prouve que c'est sous la forme trouvée à l'excrétion; ils ont pu subir de nombreuses transformations. Seule l'analyse biologique peut nous renseigner; mais même pour des éléments comme

le phosphore et le calcium, largement représentés dans les aliments, il est très difficile de constituer des rations qui en soient dépourvues.

On a réussi cependant à obtenir les troubles caractéristiques résultant de leur carence par certains régimes artificiels. Des auteurs ont tenté de fixer pratiquement les quantités minima nécessaires : Diakow donne pour les Bovins 0,115 de calcium et 0,045 de phosphore par kilogramme de poids vif; Weiske pour le mouton 0,179 de calcium et 0,045 de phosphore par kilogramme de poids vif.

Les tables d'alimentation n'indiquent pas, même pour des éléments importants comme ceux-ci, la teneur en matières minérales et cependant, par certains régimes trop uniformes il arrive, qu'ils soient à la longue nettement déficients. L'adulte au repos doit trouver dans son alimentation le calcium et le phosphore nécessaires pour réparer les pertes qui résultent de l'accomplissement de ses actes physiologiques.

L'adulte producteur a évidemment des besoins plus grands en éléments minéraux. On conçoit que les femelles en état de gestation ou de lactation subissent du fait de ce travail supplémentaire une déperdition énorme de phosphore et de calcium. Il en est de même pour toute production spéciale demandée à nos animaux domestiques. L'alimentation devra donc dans ce cas rétablir l'équilibre pour que non seulement la machine animale donne son plein rendement mais encore pour qu'elle ne prélève pas les éléments nécessaires dans les tissus.

Pour la femelle gestante, l'édification des tissus du fœtus est un gros travail; entre autres matériaux nécessaires, le sang de la mère doit fournir une forte proportion de chaux et d'acide phosphorique pour la formation du squelette surtout. C'est le calcium dont le besoin se fait le plus sentir et la calcémie de la mère étant invariable, il est évident

que lors de carence calcique, la mère prélèvera la quantité nécessaire au sein de ses propres tissus selon le mécanisme bien connu. Ceci explique les nombreux cas d'ostéomalacie observés chez les femelles, en pays pauvre, après une et surtout après plusieurs gestations..

La femelle en lactation subit également une grosse perte supplémentaire de phosphore et de calcium de par le lait qu'elle secrète. Ceci prend des proportions insoupçonnées chez nos races améliorées où la lactation est poussée à l'excès. On estime qu'une vache de 500 kilogs qui donne 10 litres de lait par jour en moyenne élimine par là 70 grammes environ de matières minérales, dont 18 grammes de chaux et 20 grammes d'acide phosphorique, soit pour une production annuelle de 2.500 litres de lait en moyenne : 4 kgs 500 de chaux et 5 kgs d'acide phosphorique. La chaux et l'acide phosphorique existent dans le lait en proportions très différentes de celles que l'on trouve dans le sang des femelles laitières ou dans leurs divers aliments. Ainsi, pour la vache, on trouve pour 100 de matières minérales totales :

	Sérum	Lait
CaO	1,5	22
P ² O ⁵	3	28

Ceci montre l'exportation qu'amène la lactation. Il faut noter toutefois que lors de mammite et dans ce cas seulement, la mamelle se comporte comme un filtre et ces pourcentages tendent à devenir égaux pour le lait et le sérum (Simonnet).

Kellner estime que la femelle a besoin de trois fois la quantité de matières minérales trouvée dans son lait. Ceci est important car il doit exister de nombreux cas où, tout en respectant les autres besoins alimentaires, on néglige dans la ration le minimum et surtout le rapport Ca/P

nécessaires à la femelle laitière. Ces carences minérales sont surtout l'inconvénient des régimes uniformes que l'on donne à la vache, des aliments dits concentrés et riches comme les grains, les farines, les tourteaux, qui apportent beaucoup d'acide phosphorique mais très peu de chaux; d'où l'apparition de troubles les uns bien connus, d'autres encore mal caractérisés au nombre desquels Forbes a cité une diminution ou même la suppression de la fécondité, ainsi qu'une baisse de la production du lait pendant la période suivante de lactation.

Forbes accuse la carence minérale d'accroître les difficultés d'obtenir d'une vache un veau avec une avance par rapport à la période antérieure de lactation, de réduire le format du veau par une gestation précoce. De même, ses expériences concluent, que lors d'insuffisance minérale la vache ne peut atteindre, après un nouveau vêlage, la production normale de lait, que cette production baisse également chez la vache maigre ou chez celle qui a eu un repos trop court entre deux périodes de lactation. Il déclare que le manque de ces éléments minéraux est souvent un facteur d'amoindrissement nutritif chez la vache laitière, et que c'est un fait assez fréquent sous certaines conditions de sol et de climat, l'addition de phosphates minéraux à la ration pouvant être souvent favorable (phosphates de chaux). Il établit que normalement la vache laitière fait des pertes journalières et régulières de calcium quand elle est fraîchement vèlée, mais qu'elle en gagne plus tard, à la fin de sa période de lactation et quand elle est tarie. Mais il reconnaît que la vache laitière est peu apte à répondre nettement à une augmentation des éléments minéraux de sa ration, soit que l'on change la composition de celle-ci, soit qu'on fournisse à l'animal un supplément minéral. Il démontre que le fourrage frais est plus favorable à la mise en réserve du calcium que ne l'est le foin sec et qu'il y a un facteur

secondaire provoquant chez les vaches fraîches vélées durant l'hiver un emprunt à leur réserve de calcium; il préconise donc de ménager une importante période de repos pour la mamelle et durant ce laps de temps une ration propre à rétablir les réserves nutritives et surtout d'accroître la mise en réserve et la faculté d'assimilation du calcium et du phosphore lorsque la femelle est jeune.

Les expériences de Meigs et Turner indiquent, entre autres conclusions, la diminution chez les vaches laitières de la facilité d'assimilation du calcium et du phosphore même sous une forme organique, comme conséquence des pertes qu'elles en ont faites. Tout ceci nous prouve l'importance des besoins phosphorés et calciques pour la vache laitière ainsi que les difficultés pratiques que l'on éprouve à les satisfaire dans les meilleures conditions.

Ces besoins se retrouvent lors de toute production animale quelle qu'elle soit et il n'est pas jusqu'aux oiseaux, que nous élevons pour qu'ils nous donnent leurs œufs, qui ne témoignent de la nécessité qu'ils ont de réparer les pertes importantes de phosphore et de calcium qu'ils subissent.

L'organisme en voie de croissance présente de même des besoins importants vis-à-vis de ces deux éléments minéraux. Le jeune ne peut les trouver que dans sa ration. Dès les premiers temps de sa vie, le lait suffit à ces besoins. Mais bien souvent le cultivateur préfère vendre le plus possible de lait et il en remplace par des succédanés une quantité de plus en plus forte dans la ration du jeune. Plus tard ce jeune est soumis à un régime mixte souvent établi trop tôt, alors que son tube digestif n'y est pas encore préparé, puis au régime de l'adulte.

Fort heureusement le lait aide beaucoup à la fixation de la chaux et de l'acide phosphorique chez le jeune animal.

Voici d'après Forbes comment s'opère la rétention chez le jeune, pour 1.000 de poids vif.

Espèce	Age (jours)	Ca (grammes)	P (grammes,
Veau	{ 18	0,108	0,118
	{ 54	0,111	0,083
	{ 149	0,098	0,053
	{ 150	0,073	0,059
Agneau	{ 177	0,046	0,020
	{ 292	0,040	0,031
	{ 386	0,038	0,035

Armsby évalue cette rétention, pour 1.000 de poids vif et par jour, comme suit :

	Ca	P
Bovins durant la 1 ^{re} année	0,071	0,037
Ovins — — — — —	0,052	0,028
Porcins — les premiers 6 mois	0,084	0,051

Soxhlet détermine pour chacune des matières minérales ingérées, les pourcentages retenus par de jeunes veaux nourris de lait : les chiffres qu'il obtient concordent avec ceux de Lawes et Gilbert qui établissent les besoins de croissance en chaux et en acide phosphorique.

Besoins de croissance rapportés à 100 kilogrammes de poids vif.

	Acide phosphorique (en kgr.)	Chaux (en kgr.)
Bœuf	1,5 à 1,8	1,8 à 2,1
Veau	1,5	1,6
Mouton	1 à 1,2	1,2 à 1,3
Agneau	1,1	1,3
Porc	0,6 à 1	0,6 à 1,1

D'après H. Boucher ces éléments nécessaires sont, pour le porc en période de croissance, assez souvent déficients. Pour un porc précoce à l'engrais, augmentant chaque jour

de 0 kgr. 600 à 0 kgr. 700, il faut 12 grammes d'acide phosphorique et le double de chaux ou presque. Or sa ration est bien souvent insuffisamment minéralisée : l'éleveur abuse souvent de la pomme de terre, du manioc, et lésine sur les aliments concentrés; toutefois lorsqu'il donne ces féculents dans du petit lait il relève la teneur de la ration du porcelet en éléments minéraux. Mais les tourteaux, les grains donnent toujours un apport insuffisant : un kilogramme de tourteau n'apporte pas plus de 8 grammes d'acide phosphorique et à peine 2 grammes de chaux, un kilogramme de grains, 6 grammes d'acide phosphorique et seulement 0 gr. 20 de chaux.

Ces aliments donnés en trop forte proportion amènent la déminéralisation du squelette, l'arrêt de la croissance, la cachexie. Puis un beau jour surviennent les maladies déformantes, des fractures spontanées, un certain rhumatisme d'allure contagieuse... qui entraînent une grosse perte économique.

La maladie de la croissance des poulains, affection bien caractérisée que l'on doit différencier des autres maladies osseuses, est due également à un apport insuffisant ou mal équilibré de phosphore et de calcium.

Il en est de même de tous les jeunes animaux, mais c'est le porc qui est le plus souvent atteint car ses besoins calciques et phosphorés sont énormes, sa croissance est rapide et son alimentation souvent défectueuse.

CHAPITRE IV

ADDITION DE PHOSPHORE ET DE CALCIUM AUX RATIONS DÉFICIENTES

On croyait jadis que seuls les sels organiques de calcium et de phosphore étaient assimilables et l'on dénigrait toute action à une addition de ces éléments sous une forme minérale. Au congrès de 1904, Saint-Yves Ménard le prétend encore et appuie son opinion sur ce fait que les éléments minéraux sont retrouvés dans les fèces, non digérés par l'organisme. Mais les physiologistes ont montré que l'intestin ne faisait qu'excréter les produits après leur utilisation.

Aujourd'hui encore, si on accorde quelque pouvoir aux formes minérales, on hésite à les employer dans l'alimentation des animaux domestiques et les produits vantés sont surtout des composés calciques et phosphorés présentés sous forme organique. Ce sont surtout la poudre d'os sous ses différentes formes (poudre d'os verts et poudre d'os dégélatinés...) le lactate de chaux, des lécithines, des phosphoprotéines... Si nous étudions les produits en vogue, nous trouvons du phosphate précipité d'os vendu par l'Union Chimique Belge qui garantit 38 % de $P^2 O^5$ ainsi que les Gélatines Hasselt de Bruxelles; le laboratoire Fayès à Paris recommande un condiment Os-Rock; nous trouvons un Zoo-phosphate vétérinaire vitaminé, irradié, la Calciline et une foule de spécialités à base de poudre d'os, de lactate, etc.

On a préconisé de mettre constamment à la disposition des vaches laitières un mélange d'une partie de chlorure de

sodium et de 4 parties de poudre d'os et l'auteur fait observer que le produit des os soumis à la vapeur dans les manufactures de gélatine est plus facile à manier que la poudre d'os employés comme engrais. A. Theiler fait donner 100 grammes de poudre d'os par jour et par animal, et guérit ainsi en Afrique du Sud, les Bovins atteints d'aphosphorose.

Mais on ne peut nier aujourd'hui l'action des formes minérales. On connaît depuis longtemps l'influence des eaux calcaires sur le développement du squelette des animaux et on ne met plus en doute, à l'heure actuelle, le fait que la chaux peut être utilisée à l'état minéral par l'organisme, tous les physiologistes l'ont prouvé par les bons effets des régimes artificiels complets.

De même il semble bien prouvé que le phosphore minéral est capable de subvenir à tous les besoins phosphorés de l'organisme (Expériences d'Osborne et Mendel, de Mac Collum et Davis..., etc.).

Mais ce qui reste à établir, c'est si les composés organiques calciques et phosphorés ont ou n'ont pas une valeur nutritive supérieure à celle d'un mélange correspondant de protéines simples et de phosphate de chaux minéral par exemple.

Beaucoup de vétérinaires, soucieux du prix de revient de ce condiment minéral, préconisent l'addition de phosphore et de calcium sous forme minérale : chaux banale, carbonate de chaux, phosphates divers. Nous avons pensé que les phosphates de chaux, dont l'usage commence à se répandre parmi les éleveurs était tout indiqué, notamment le bicalcique et le tricalcique.

On sait aujourd'hui que ces phosphates sont assimilables.

Fillory alimente des canes pendant quelques mois en supprimant le phosphore dans la ration, mais en ajoutant du phosphate de chaux.

Les œufs contiennent autant de nucléine et de lécithine; ceci prouve la digestibilité et l'assimilation de ces phosphates, vu que ces substances phosphorées n'ont pu prendre leur phosphore que dans ces phosphates.

Köhler à la Station de Mœckern fait de multiples expériences qui démontrent nettement la possibilité d'utiliser les phosphates minéraux bicalcique et tricalcique dans l'alimentation du bétail : Ses expériences sont faites sur des agneaux, Le bilan du phosphore et du calcium étant négatif sans addition dans le régime donné, devient nettement positif aussi bien lorsqu'on ajoute du phosphate bicalcique que du tricalcique, et les animaux ont une croissance facile et heureuse, tandis que les bilans prouvent que ces phosphates ont été assimilés.

D'autres auteurs ont tenté également cette addition aux rations mais certains prétendent que l'administration de ces phosphates entraîne chez les animaux une perte d'appétit. C'est plutôt le gros inconvénient du phosphate brut, le phosphate précipité minéral est inoffensif à ce point de vue. Quant au phosphate brut il a été expérimenté sur une grande échelle par Forbes et ses associés à la Station Expérimentale Agricole d'Ohio : le phosphate brut est peu actif et présente le double inconvénient de diminuer l'appétit et d'avoir une teneur assez forte en fluor.

Reed et Huffman ont rapporté que si l'on donne des phosphates bruts à des vaches laitières, dans la proportion de 1,5 % ou plus du mélange des grains, les animaux perdaient l'appétit, leur poids se maintenait au-dessous de la normale, la texture de leurs dents devenait très molle et dans quelques cas, elles s'usaient jusqu'aux gencives. La mâchoire inférieure était beaucoup plus épaisse, plus grossière que celle du bétail normal.

Buckner, Martin et Peter ont trouvé ce phosphate peu satisfaisant comme supplément minéral pour les poules

pondeuses. Les poules qui avaient reçu du phosphate brut furent affectées par la diarrhée et la ponte s'arrêta; le lot qui n'avait pas reçu de minéraux pondit 60 % plus d'œufs que ceux qui avaient reçu du phosphate brut. D'autres preuves de la faible valeur du phosphate brut furent fournies par Tolle et Maynard, Mac Collum, Bunting Sollmann, Wetzel... expérimentant sur le rat blanc; il se montra néfaste pour la croissance et pour l'ossification du squelette.

Forbes fut le premier à suggérer que la présence du fluor dans le phosphate brut était la cause de ces effets malfaisants.

En effet, suivant la méthode de dosage de Reynolds, Ross et Jacob, divers échantillons de phosphate brut révélèrent une teneur de 2,62 p. % de 4,08 %, 3,72 %, 3,89 %.

La toxicité du fluor chez les animaux a été fréquemment observée, même à des niveaux qui peuvent être atteints dans l'alimentation du bétail par l'emploi du phosphate brut comme aliment destiné à apporter le calcium supplémentaire à la ration. Il diminue la consommation de nourriture, retarde l'augmentation de poids, diminue la résistance à la rupture des os.

Mais il faut noter que le dosage du fluor est difficile; aucune méthode n'est encore satisfaisante; ce dosage, toujours délicat l'est plus encore en présence de chaux ou en présence d'acide phosphorique. Dans le cas qui nous occupe, les deux difficultés s'ajoutent et si on veut séparer ces deux corps gênants, on risque d'avoir des pertes de fluor.

A défaut de bonne méthode de contrôle chimique, il est difficile d'entreprendre l'étude du métabolisme du fluor de façon satisfaisante. On ne s'avance cependant pas trop en affirmant qu'une petite quantité de fluor est indispensable à l'animal en voie de croissance, mais que au-dessus de cette quantité on atteint assez vite le seuil de toxicité. Il est fort possible que dans certains régimes on ait intérêt

à introduire un peu plus de fluor; Il est certain par contre qu'on doit dans tous les cas se méfier d'introduire, sciemment ou non, trop de fluor dans la ration, et notamment écarter de l'administration per os les phosphates naturels qui contiennent toujours du fluophosphate et parfois jusqu'à 4 % exprimé en fluor.

Les phosphates que nous avons étudiés étaient du phosphate bicalcique précipité minéral et du phosphate tricalcique précipité également. Ils nous ont paru éviter les inconvénients dus au phosphate brut. De plus, il nous a semblé que la forme même sous laquelle se présentaient ces phosphates était favorable à leur assimilation. On sait en effet que dans l'examen d'un corps chimique quelconque, sa pureté n'est pas la seule chose à considérer; il faut aussi tenir compte de son état physique.

C'est ainsi que les pommades à base de mercure métallique seront plus ou moins efficaces selon l'état de division du mercure; le sulfate de baryum employé sous forme de pâte pour rendre visibles les diverses fractions du tube digestif soumises à l'examen aux rayons X devra, pour bien remplir son office, se présenter sous forme de grains aussi fins que possible; le carbonate de calcium employé en médecine humaine pour combattre l'hyperacidité de l'estomac et de l'intestin est efficace ou non selon son état de division; enfin, les corps à l'état colloïdal agissent d'une façon toute spéciale. Tout ceci nous a amené à tenter de vérifier si les phosphates minéraux donnés sous cette forme pure et précipitée, donc extrêmement tenue, n'étaient pas plus profitables à l'organisme.

Nous avons expérimenté d'abord sur des lapins femelles et leurs petits les effets du phosphate tricalcique précipité minéral, ainsi que du bicalcique comparativement à la poudre d'os.

Nous avons à notre disposition une dizaine de lapines et

deux lapins mâles de la race géant des Flandres, tous sensiblement du même poids et du même âge.

Nous avons éprouvé une assez grande difficulté à composer une ration pauvre en phosphore et en calcium : il fallait des aliments alibiles afin de ne pas fausser l'expérience et les dosages, et surtout des aliments que les animaux acceptent et qui les laissent dans leurs conditions normales de vie. Après maints tâtonnements nous avons établi la ration suivante suffisamment pauvre en chaux et en acide phosphorique.

Pomme de terre cuite écrasée	400 grammes
Paille de blé finement hachée.	100 —
Eau distillée, à volonté	

La pomme de terre contient à peine, pour 1.000 grammes de matière sèche, 1 gr. 2 de calcium et 6 gr. 4 de phosphore, sur 36 grammes seulement de cendres totales, la paille de blé, 3 grammes de calcium et 2 gr. 4 de phosphore avec un total de 36 à 50 grammes de cendres, toujours pour 1.000 gr. de matière sèche.

L'eau distillée évite l'apport de calcium, inévitable avec les eaux de boissons ordinaires qui sont souvent calcaires.

De plus on voit que ce régime pauvre donne un rapport

$\frac{\text{Ca}}{\text{P}}$ très loin de l'unité :

		Ca	P
Pomme de terre	400 gr.	0,480	2,560
Paille de blé.	100 gr.	0,300	0,240
H ² O			
		0,780	2,800

$$\frac{\text{Ca}}{\text{P}} = \frac{0,8}{2,8}$$

A côté de ce régime pauvre, nous avons établi un régime normal servant pour les animaux témoins, toujours avec de l'eau distillée régime normal n° 1.

Pour 1.000 gr. de matière sèche :

Avoine	200 gr.	0,280	1,720
Son de blé.	50 —	0,090	1,400
Foin de luzerne	100 —	3,200	0,610
		<u>3,570</u>	<u>3,730</u>
Ca	3,6		
P	3,7		

régime normal n° 2 : la ration comprend les mêmes éléments mais Ca /P y est de 6,7 /5,3 et on ajoute un peu d'aliments frais sous forme de feuilles de choux mais en quantité négligeable pour les dosages.

Au cours de l'expérimentation nous avons ajouté d'abord au régime pauvre du phosphate tricalcique précipité minéral ou du bicalcique ou de la poudre d'os, puis au régime normal ces mêmes phosphates.

Dans le bicalcique, les proportions $(\text{Po}^{4})^2 \text{Ca}^2 \text{H}^2$ donnent 31 de phosphore pour 40 de calcium soit $\frac{\text{Ca}}{\text{P}} = \frac{40}{31}$.

Dans le tricalcique $(\text{Po}^{4})^2 \text{Ca}^3$ ou $\text{P}^2 \text{O}^5$, 3 Ca O ou a 2 P pour 3 Ca (P. 62 Ca. 120) soit $\frac{\text{Ca}}{\text{P}} = \frac{60}{31}$.

Le carbonate de chaux contient 40 % de calcium.

OBSERVATIONS

Ces observations ont été recueillies d'abord sur des lapines et leurs petits dans les locaux du laboratoire de Zootechnie de l'Ecole Vétérinaire d'Alfort, puis sur des truies et des porcelets en clientèle au cours de stages que nous avons faits pendant les vacances.

OBSERVATION I. — Femelle marquée n° 1, race Géante des Flandres, pèse 3 kilos environ.

On lui donne la ration normale n° 1, pendant quinze jours; puis elle est saillie par le mâle A (même race). Elle donne 6 petits pesant au bout de cinq jours 325 grammes; poids moyen d'un petit 54 grammes; la mère a du lait, élève bien ses petits; elle est toujours au régime normal n° 1. A quinze jours le poids moyen d'un petit est de 139 grammes et à un mois de 273 grammes.

On sacrifie deux petits à 2 mois et on prépare patiemment le fémur et l'omoplate de façon à constater où en est l'ossification. Les os des petits renferment, pour 100 de matière sèche :

P_2O_5 : 12,45

CaO : 15,70

Dosages de CaO et de P_2O_5 dans les excréments de la mère, pour 100 de matière sèche :

	P_2O_5	CaO
Avant la gestation.	1,08	0,60
Pendant la gestation	0,62	0,53
Dix jours après la mise bas.	0,79	0,51

OBSERVATION II. — Femelle marquée n° 11, même race, pèse 3 kilogrammes environ.

On lui donne la ration normale n° 2. Saillie par mâle A, donne 6 petits normaux, elle les élève bien. Au bout de cinq jours les petits pèsent 319 grammes, la moyenne est 53 grammes à 15 jours le poids moyen d'un petit est de 145 grammes, à 1 mois de 288 grammes.

On en sacrifie deux à 2 mois, le fémur et le scapulum paraissent plus ossifiés et les os renferment, pour 100 de matière sèche :

P^2O^5 : 13,01

CaO : 16,18

Dans les excréments de la mère on trouve, pour 100 de matière sèche :

	P^2O^5	CaO
Avant la gestation.	1,03	0,59
Pendant la gestation.	0,70	0,71
Dix jours après la mise bas	0,85	0,52

OBSERVATION III. — Femelle n° 2, même race, pèse 3 kgr. 200 environ.

On lui donne la ration pauvre pendant toute l'expérience. Elle est saillie par le mâle A. La Femelle mange bien et ne semble pas incommodée par le régime. Elle donne 5 petits normaux qui pèsent 247 grammes soit 49 grammes en moyenne à l'âge de cinq jours. La mère a du lait, les petits semblent vigoureux sauf un qui meurt à 20 jours. Le poids moyen est alors 262 grammes à 1 mois.

On sacrifie 2 petits à l'âge de 2 mois : le fémur et le scapulum sont bien moins ossifiés et plus flexibles que dans les nichées témoins ces os renferment, toujours pour 100 de matière sèche :

10,95 de P^2O^5 et 14,20 de CaO

Quant à la mère on trouve dans ses excréments (pour 100 de matière sèche) :

	P ² O ⁵	CaO
	—	—
Avant la gestation.	0,95	0,50
Pendant la gestation.	0,19	0,08
Dix jours après la mise bas	0,25	0,12

OBSERVATION IV. — Femelle n° 3, même race, pèse 3 kilogrammes environ.

On lui donne pendant toute l'expérience la ration pauvre additionnée de 5 grammes de phosphate tricalcique précipité minéral. Elle s'y habitue vite Elle est saillie par le mâle A, naissance normale de 6 petits pesant à 5 jours 340 grammes, c'est-à-dire 57 grammes en moyenne.

La mère a du lait, les petits pèsent en moyenne 150 grammes à 15 jours et 290 grammes à 2 mois.

Nous en sacrifions trois à 2 mois, ils présentent une bonne ossification, les os contiennent en moyenne (p. 100 grammes de matière sèche) :

13,95 de P²O⁵ et 16,80 de CaO

Quant aux excréments de la mère on trouve pour 100 grammes de matière sèche :

	P ² O ⁵	CaO
	—	—
Avant la gestation.	1,15	0,75
Pendant la gestation.	0,80	0,65
Dix jours après la mise bas	0,95	0,78

OBSERVATION V. — Femelle n° 10, même race, même poids (3 kilogrammes environ).

On lui donne : régime pauvre additionné de poudre d'os

(8 grammes) saillie par le mâle A elle donne naissance à 6 petits normaux qui à 5 jours pèsent au total 302 grammes soit en moyenne 50 grammes.

La mère a peu de lait, les petits pèsent en moyenne 135 grammes à 15 jours et 250 grammes à 1 mois, leurs os, assez bien ossifiés contiennent (pour 100 de matière sèche) :

13,01 de P^2O^5 et 13,90 de CaO

Quant aux excréments de la mère :

	P^2O^5	CaO
Avant la gestation.	1,90	1,10
Pendant la gestation.	1,12	0,71
Dix jours après la mise bas	1,57	1,03

OBSERVATION VI. — Femelle n° 12, même race et même poids. On lui donne : régime pauvre + poudre d'os (8 grammes.)

Saillie par le mâle A elle donne 6 petits qui à 5 jours pèsent 313 grammes (en moyenne 52 grammes), la mère a du lait; à 15 jours, moyenne 145 grammes, à un mois, moyenne 278 grammes, leurs os bien ossifiés, contiennent :

P^2O^5 : 13,09

CaO : 14,27

Les excréments de la mère :

	P^2O^5	CaO
Avant la gestation.	1,98	1,20
Pendant la gestation.	1,32	0,82
Dix jours après la mise bas	1,76	1,28

OBSERVATION VII. — Femelle n° 4, même race et mâle A; elle pèse 3 kgr. 300 environ.

On lui donne : régime pauvre + bicalcique : 6 grammes. Elle donne 5 petits normaux qui pèsent en moyenne à 5 jours 63 grammes, à 15 jours 155 grammes, à 1 mois 296 grammes.

On en sacrifie deux à 2 mois : bonne ossification, teneur des os pour 100 de matière sèche :

P^2O^5 : 14,02 et 14,50

CaO : 16,80 et 17,20

Teneur des excréments de la mère :

	P^2O^5	CaO
	—	—
Avant gestation.	1,20	0,80
Pendant gestation.	0,95	1,20
Dix jours après mise bas	1,10	1,50

OBSERVATION VIII. — Femelle n° 5 et mâle A, même race, elle pèse 2 kgr. 800 environ.

On lui donne : régime pauvre + bicalcique = 6 grammes. Elle donne 4 petits normaux qui pèsent au total à 5 jours 238 grammes et en moyenne 160 grammes à 15 jours, 290 à un mois.

On en sacrifie deux : bonne ossification, très avancée même ; teneur des os :

P^2O^5 : 14,70 et 13,90

CaO : 16,60 et 17,30

Teneur des excréments de la mère :

	P^2O^5	CaO
	—	—
Avant la gestation.	0,90	0,87
Pendant la gestation.	0,47	0,81
Dix jours après la mise bas	1,08	0,92

OBSERVATION IX. — Femelle n° 6 et mâle B même race, le mâle B est plus petit que A.

On donne à la femelle : régime pauvre + bicalcique (6 grammes). Elle donne 4 petits qui pèsent à 5 jours un total de 221 grammes soit une moyenne de 55 grammes, à 15 jours, moyenne 148 grammes, à un mois moyenne 272 grammes.

Les excréments de la mère :

	P ² O ⁵	CaO
Avant la gestation.	0,98	0,82
Pendant la gestation.	0,51	0,31
Dix jours après la mise bas	1,01	0,40
Pour 100 de matière sèche.		

OBSERVATION X. — Femelle n° 3 et mâle A, même race, 3 kilogrammes environ.

On lui donne : régime normal + tricalcique 5 grammes, naissance normale : 5 petits total : 305 grammes soit en moyenne 61 grammes et à 15 jours 152 grammes, à un mois 280 grammes, les os, bien ossifiés ont une teneur :

P²O⁵ : 16,00 et 14,07

CaO : 16,10 et 15,70

Les excréments de la mère :

	P ² O ⁵	CaO
Avant la gestation.	2,00	1,85
Pendant la gestation.	1,70	1,10
Dix jours après la mise bas	1,35	1,60

OBSERVATION XI. — Femelle n° 1 et mâle A, elle pèse 3 kilogrammes environ.

On lui donne : régime normal + bicalcique (5 grammes.)

Elle donne 7 petits pesant à 5 jours un total de 362 grammes soit en moyenne 53 grammes et à 15 jours 130 grammes à 1. mois 280 grammes.

On en sacrifie deux à 2 mois : très bonne ossification, teneur des os :

P^2O^5 : 17,95 et 18,01

CaO : 15,27 et 18,50

Les excréments de la mère :

	P^2O^5	CaO
Avant la gestation.	1,85	1,87
Pendant la gestation.	1,01	0,84
Dix jours après la mise bas	1,30	1,37

OBSERVATION XII. — Femelle n° 7 et mâle A. Elle pèse 3 kgr. 200 environ.

On lui donne : régime pauvre. Elle donne naissance à 7 petits normaux mais les mutile puis les mange en l'espace de quarante huit heures.

OBSERVATION XIII. — Femelle n° 8 et mâle A.

On lui donne : régime pauvre, 5 petits normaux. Elle en mange 3 les autres meurent, elle n'a pas de lait.

OBSERVATION XIV. — Femelle n° 9 et mâle A.

On lui donne : régime pauvre. Elle mange bien, prépare son nid normalement, donne 6 petits mais n'a pas de lait ou très peu. Elle les mutile; deux survivent l'un dépourvu d'oreilles l'autre amputé d'un membre antérieur ils succombent d'ailleurs au bout de huit jours bien que l'on ait donné à la mère un bon régime normal; elle les abandonne.

OBSERVATION XV. — Femelle n° 5 et mâle A.

On lui donne : régime pauvre. Elle a eu lors d'une première expérience un supplément de bicalcique.

Cette fois elle donne 7 petits mais bien qu'elle ait préparé son nid normalement et qu'elle ait du lait, elle les fait périr en leur mangeant la tête.

OBSERVATION XVI. — Femelle n° 10 et mâle A.

On lui donne : régime pauvre (Lors d'une première expérience elle a reçu ce même régime pauvre additionné de poudre d'os).

Cette fois, elle donne 5 petits qu'elle mutile, elle aussi, trois petits survivront jusqu'à l'âge adulte, véritables phénomènes : l'un n'a pas d'oreilles, l'autre n'a que trois pattes tandis que le troisième paraît avoir une peau démesurément grande si bien qu'on peut le saisir aisément par le dos.

Nous avons remarqué la coïncidence de cette perversité de l'instinct lors de l'administration du régime pauvre en calcium et en phosphore. Il y a lieu de penser que la femelle agirait ainsi pour récupérer coûte que coûte ces éléments minéraux qui lui sont de toute nécessité.

Les femelles 3 et 7 sur lesquelles nous avons continué d'expérimenter les effets du régime pauvre pendant de nouvelles gestations sont mortes après leur mise-bas.

OBSERVATION XVII. — A titre de comparaison : nous avons essayé les effets du bicalcique, du tricalcique et de la poudre d'os sur l'organisme adulte au repos.

A la fin des expériences nous avons fait subir ces régimes riches aux mâles A et B et à la femelle n° 1 pendant dix-huit jours, après quoi nous avons dosé P^2O^5 et CaO , dans leurs excréments, tous les jours pour 100 grammes de matière sèche :

Mêmes doses :	Mâle A bicalcique	Mâle B tricalcique	Femelle 1 poudre d'os
P_2O_5	0,98	1,98	3,00
CaO.	0,70	0,60	2,85

Tous ces dosages ont été effectués après dissolution complète à chaud, en matras de kjeldahl, dans 20 centimètres cubes d'acide sulfurique et une quantité d'acide nitrique suffisante pour obtenir la destruction de toute matière organique. Les quantités attaquées exactement pesées étaient de 5 grammes environ pour les fèces et 2 grammes environ pour les os. Dans ces conditions il a été utilisé environ 20 centimètres cubes d'acide nitrique pour les fèces et environ 5 à 10 centimètres cubes pour les os. Il n'est pas resté de résidu insoluble et les liquides limpides obtenus se sont bien prêtés aux dosages de la chaux et de l'acide phosphorique.

La chaux a été précipitée, après neutralisation par l'ammoniaque, en présence d'un peu d'acétate d'ammoniaque, par l'oxalate d'ammoniaque, pesée en chaux vive, et vérification en transformant cette chaux en carbonate, par le carbonate d'ammoniaque.

L'acide phosphorique a été précipité à l'état de phosphomolybdate d'ammoniaque après séjour de trois quarts d'heure au bain-marie à 70°, suivant la méthode courante par pesée sur filtres équilibrés. On évite avec soin la calcination qui peut, même avec addition de chaux, donner lieu à des pertes de phosphore, et qui eût compromis le dosage de ce corps.

Il importe bien entendu dans cette technique, de s'assurer, en ce qui concerne la chaux, qu'on ne laisse pas un résidu de chaux sulfatée dans la liqueur d'attaque. Cet inconvénient n'est pas à redouter avec des prises d'essai

suffisamment petites, et s'il se produisait, on s'en apercevrait facilement.

• ——— •

Nous avons eu, lors de stages chez des confrères, l'occasion d'essayer les phosphates bicalciques précipité minéral et tricalcique dans l'alimentation des porcs et surtout du porcelet.

Nous étions appelé le plus souvent pour des porcelets qui « ne venaient pas » c'est-à-dire pour de jeunes porcs rachitiques. Au lieu de conseiller, selon la coutume les sels Activa (mélange de sels minéraux et surtout de phosphate de chaux) et l'actinase, nous avons remplacé les premiers soit par le tricalcique, soit par le bicalcique, nous avons conseillé l'actinase lorsque les porcelets sevrés restaient enfermés, et nous l'avons négligé lorsque nous avions affaire à des porcs-coureurs.

Dans tous les cas, le bicalcique à la dose de 15 à 20 grammes par jour a donné d'excellents résultats. Le porc s'y habitue avec toutefois une période de deux ou trois jours où il semble boudier sa ration (Mais bien souvent lorsqu'on nous a rapporté ce fait nous avons pu connaître que l'éleveur avait sciemment forcé la dose). Ce même inconvénient s'observerait avec le tricalcique.

Mais, surtout, ces deux phosphates déterminent pendant le premier mois de l'entérite qui se traduit par une diarrhée parfois assez forte. Le porc s'y accoutume, et dès le deuxième mois du traitement, on est surpris, lorsqu'on intervient à temps, par la rapidité de la guérison clinique.

Mais ces inconvénients sont supprimés lorsqu'on remplace le bicalcique pur par le mélange suivant :

Craie moulue ou Blanc de Meudon	75 %
Phosphate bicalcique précipité minéral.	25 %

à la dose de :

10 à 25 grammes pour le porcelet sevré, selon l'âge.

40 à 50 grammes pour la truie gestante.

Il y aurait lieu d'essayer ce mélange, chez les grands animaux lors de rations déficientes en phosphore et en calcium et notamment chez les femelles en état de gestation ou de lactation et chez les jeunes en voie de croissance.

On peut juger d'après ces quelques observations que le phosphore et le calcium sont assimilés aussi bien sous forme de phosphate minéral que sous forme de poudre d'os et que le bicalcique est mieux assimilé que le tricalcique.

Les meilleurs résultats sont obtenus lorsqu'on respecte la valeur optimum du rapport Ca/P.

CONCLUSIONS

Nous avons vu le rôle important du phosphore et du calcium dans l'organisme, tant au point de vue physiologique qu'au point de vue pathologique, comment ils sont répartis dans les aliments et la nécessité où l'on se trouve souvent d'ajouter un complément minéral à la ration.

Cette nécessité est caractérisée dans nos observations XII à XVI, jusqu'à des accidents qui amènent une perversion partielle ou totale de l'instinct maternel, la perte de portées entières, la mort des femelles reproductrices et par contre dans les régimes complétés par l'obtention de résultats normaux. Il y a lieu de songer que la perversion des femelles domestiques, des truies par exemple qui mangent ou mutilent leurs portées n'est pas sans relation avec les carences de phosphore et de calcium.

Les opérations zootechniques, conditionnées par les nécessités économiques, nous amènent fréquemment à faire sortir nos animaux de leurs conditions normales de vie; nous les obligeons par une nourriture appropriée, à nous fournir un gros rendement. Or, bien souvent, ce sont des aliments concentrés dits riches que nous leur donnons, lesquels sont riches en phosphore mais pauvres en calcium : il faudra que l'éleveur ajoute la quantité de foin de graminées ou de légumineuses, nécessaires pour rétablir l'équilibre. Il ne devra pas oublier que le rapport Ca/P doit être recherché aussi voisin que possible de l'unité. Il respectera les besoins de l'adulte au repos et surtout ceux, plus importants, de l'adulte producteur et du jeune en voie de

croissance, vis-à-vis du phosphore et du calcium. Quant au jeune, son intérêt est souvent sacrifié au prix de revient de sa ration : il est sevré hâtivement afin de vendre le lait de sa mère et on lui donne du petit lait ou d'autres succédanés, voire un lait d'une autre espèce.

Dans tous les cas, l'alimentation se montre déviée parce qu'intensive; l'éleveur cherche à obtenir le maximum de rendement dans le minimum de temps et d'argent; il ne devra pas méconnaître cependant les besoins de l'organisme, respecter l'apport de phosphore et de calcium nécessaire au bon fonctionnement de la machine animale.

Ce complément minéral ne sera jamais demandé aux phosphates minéraux naturels qui, nous l'avons vu, donnent des résultats médiocres ou mauvais. Nous n'aurons aucune objection à présenter contre l'emploi des farines d'os, pourvu que celles-ci soient obtenues dans des conditions suffisamment hygiéniques, et privées de constituants organiques trop facilement altérables : rancidité des lipides, altération des amino-acides.

Nous proposons le mélange suivant.

Phosphate bicalcique précipité minéral	1 partie.
Carbonate de chaux (craie lavée)	. . . 3 parties.

qui présente comme avantage sa constance de composition, son inaltérabilité, son inocuité, et son prix de revient très modéré.

Il serait peut-être souhaitable de connaître exactement pour chaque ration les quantités respectives de calcium et de phosphore qu'elles apportent, et de procéder par retouche de la minéralisation suivant des règles précises qui font encore défaut.

Pratiquement, il convient d'éviter dans la correction des déficiences de Ca et de P et du rapport Ca/P un excès

de P par rapport à Ca, l'inverse étant moins gênant, avec une assez large tolérance.

Le mélange ci-dessus possède un rapport $\text{Ca/P} = 6,5$; il répond aux cas de rations sous-minéralisées ou présentant un quotient Ca/P inférieur à l'unité.

Les indications en sont, en temps normal, les femelles gestantes ou en état de lactation et les jeunes animaux en période de croissance, — et occasionnellement tous les animaux en pays pauvres ou lors de grande sécheresse.

Vu le Doyen
BALTHAZARD

Vu le Président
FIESSINGER

Vu et permis d'Imprimer
Le Recteur de l'Académie de Paris.

S. CHARLETY

BIBLIOGRAPHIE

- ALQUIER (J.). — Analyse élémentaire des substances végétales, 1901.
- ARMSBY. — Nutrition of Farm Animals, 1922.
- BETHKE (R.-M.), KICK (C.-H.), EDGINGTON (B.-H.) and WILDER (O.-H.). — 1930 : The effect of feeding sodium fluoride and rock phosphate on bone development in swine (Soc. Anim. Prod. Proc., 1929, 29-33).
- BOUCHER. — Alimentation hygiénique du porc pendant l'engraissement.
- BRAUDL (J.) and TAPPEINER (H.). — 1891 : Über die Ablagerung von Fluorverbindungen im Organismus nach Fütterung mit Fluornatrium.
- BUCKNER, MARTIN and PETER. — 1923 : Calcium metabolisme in the laying Hen. 1929 : The relative utilization of different calcium compounds by hens in the production of eggs. *Jour. Agr. Research*, 36.
- CRISTIANI (H.). — La fluorose du bétail et les gaz nitreux, C.-R. Soc. Biol., n° 6, Paris, 1927.
- Recherches sur l'action du fluor sur les végétaux et les animaux (Conférence faite à l'Institut International d'Agriculture, Rome).
- DECHAMBRE. — Cours d'hygiène alimentaire et d'agronomie à l'Ecole Vétérinaire d'Alfort.
- DECHAMBRE et LETART. — L'alimentation scientifique des animaux.

DOYLE. — Fractures spontanées chez les porcelets.

FORBES (F.-B.) and OTHERS. — 1921 : The utilization of calcium compounds in animal nutrition. Ohio. Agr. Expt. Station.

GISOLUE et DEHERIN. — Compte rendu à la Société de Biologie en 1899.

JACOB (K.-D.) and REYNOLDS (D.-S.). — 1928 : The fluorine content of phosphate Rock. *Jour. Assoc. Off. Agr. Chem.*, 11.

Journal of Agricultural Science.

Journal of the American Veterinary medical Association.

Journal of biological Chemistry.

Journal of Agricultural Research.

KOHLER. — Recherches sur l'assimilation des phosphates à la Station de Mœckern.

LAVALARD et JOULE. — Congrès d'alimentation, 1904.

LAWES et GILBERT. — Besoins de croissance pour nos animaux en chaux et en acide phosphorique.

LEGENDRE. — Alimentation rationnelle des animaux domestiques.

LUCIE RANDOIN et SIMONNET (H.). — Les données et les Inconnues du problème alimentaire.

MAC COLLUM (E.-U.), SIMMONDS, BECKER and BUNBING. — The effect of additions of fluorine to the diet of the rat on the quality of the teeth.

MAC CRUDEN. — Determination of Calcium in the presence of magnesium and phosphates : the determination of calcium in the urine.

MAIGNON. — Cours de Physiologie à l'Ecole d'Alfort. Les maladies par carences (Conférence aux Journées Vétérinaires de 1931).

MAREK et WELMANN. — Les maladies par carence (Rapport du

XI^e Congrès international de médecine vétérinaire,
Londres, 1930.

MILES et FENG. — Métabolisme du calcium et du Phosphore dans
l'Ostéomalacie.

MITCHELL and HAMILTON. — 1929 : Swine type studies. The
energy and protein requirements of growing swine and
the utilization of feed energy in growth.

Rapports du Laboratoire des Agriculteurs de France (GUILLIN).

REED and HUFFMAN. — Dairy cattle needs phosphorus in ration.
Lack of this element causes depraved appetite in ani-
mals. The results of a five year mineral feeding investi-
gation with dairy cattle.

Revue de pathologie comparée.

Revue de Zootechnie.

REYNOLDS, ROSS and JACOB. — 1928 : Volatilization method for
the determination of fluorine. With special reference to
the analysis of phosphate rocks.

ROBERT (Thèse vétérinaire, Paris, 1927). Contribution à l'étude
de la Cachexie osseuse dans l'Aube.

SCHULZ and LAMB. — The effect of fluorine as sodium fluoride
on the growth and reproduction of albino rats.

SCHWYZER. — 1903 : The pathology of chronic fluorine poisoning
(*Jour. med. research*).

SERONO. — Le problème de la fixation du calcium.

SIMONNET. — Rapports sur le rachitisme etc.

SOLLMANN, SCHETTLER and WETZEL. — 1921. Studies of chronic
intoxication on albino rats. Fluorid, chlorid and cal-
cium... « phosphate rock ». Calcium phosphate (preci-
pitaded) and calcium carbonate (precipitaded).

TAYLOR. — 1929 : Effect of fluorine in dairy catttle ration, rock phosphate.

THEILER. — Le manque de phosphore comme cause directe ou indirecte des maladies du bétail.

TOLLE and WAYNARD. — 1929. Phosphatic limestone and other rock products as mineral supplements.

VOITELLIER. — Les matières minérales dans l'alimentation des vaches laitières.

WEIL et GUILLAUMIN. — Le métabolisme du phosphore et du calcium, leur rôle. Les troubles de l'excitabilité neuro-musculaire.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	5
CHAPITRE PREMIER. — Le Phosphore et le Calcium dans l'organisme.	7
CHAPITRE II. — Le Phosphore et le Calcium dans les ali- ments	26
CHAPITRE III. — Les besoins de l'organisme en Phosphore et en Calcium.	32
CHAPITRE IV. — Addition de Phosphore et de Calcium aux rations déficientes.	39
OBSERVATIONS	46
CONCLUSIONS.	57
BIBLIOGRAPHIE.	60

